

Workshop „Antennenkonzepte für 3D-Netze der Zukunft“, 01.02.2024

Kompakte Automobilantennen für hybride 5G terrestrische/nicht terrestrische Netzwerke

Christian Bornkessel und Matthias A. Hein,
Thüringer Innovationszentrum Mobilität, TU Ilmenau



Kompakte Automobilantennen für hybride 5G TN/NTN

Inhaltsübersicht

1. Motivation

2. Projekt embrace5G

- Herausforderungen
- Philosophie

3. Ergebnisse

- Pegelplan (link budget)
- Terminalantennen

4. Zusammenfassung



Automatisiertes und vernetztes Fahren

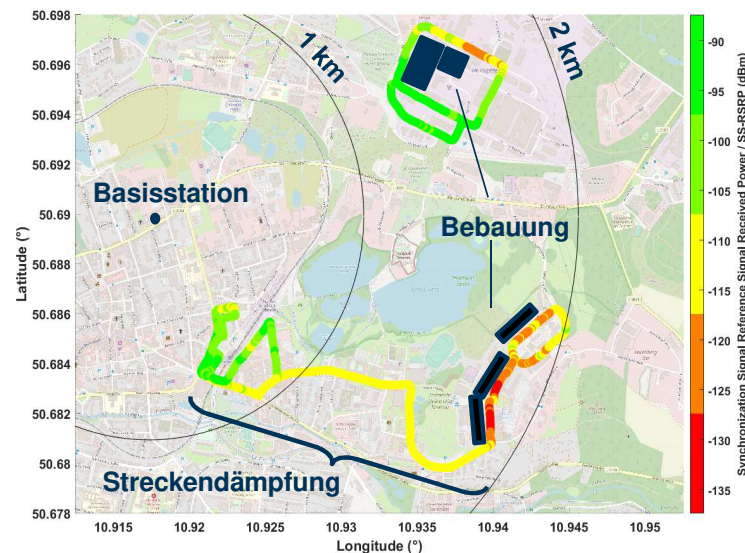
L4 und 5G

• Fahrautomatisierung L4

- Erfordert geeignete Betriebsbereiche (ODD), z.B. ÖPNV
- Perspektivische Verfügbarkeit von L4-Fahrzeugen

• Mobilfunk 5G

- Voraussetzung für teleoperiertes Fahren
- Erfordert strategischen Netzausbau
- Lückenhafte Abdeckung: Abschattung durch Bebauung u.ä.
- Bedeutung und Potential von NTN

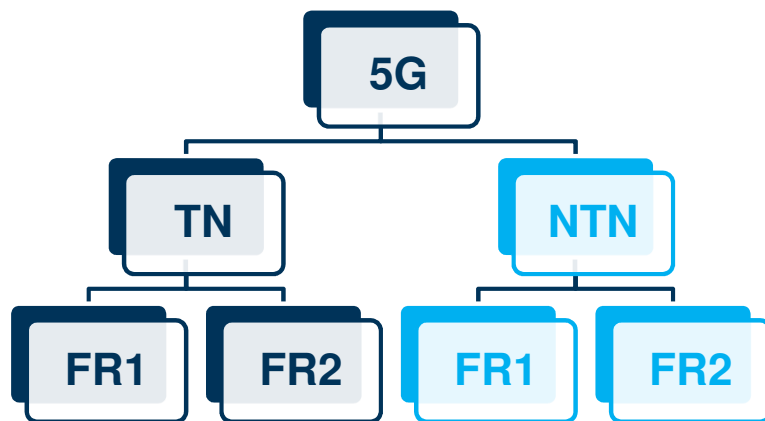


NTN – Non-terrestrial network

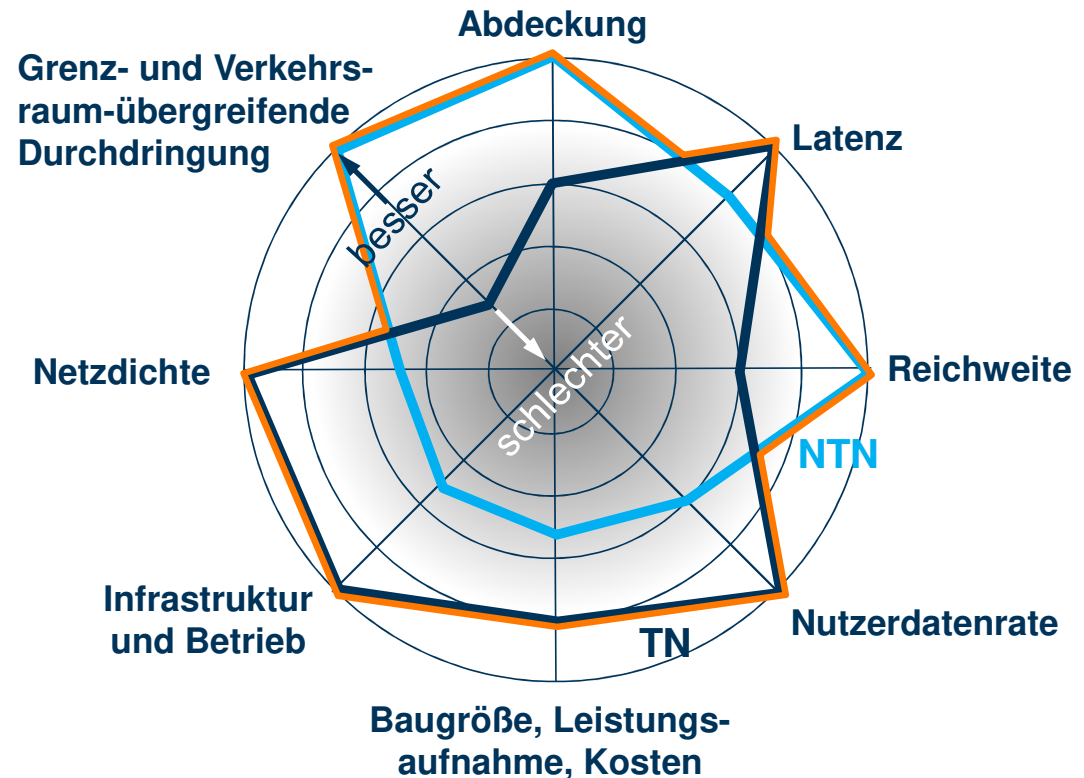
Mobilkommunikation 5G

Terrestrisch (TN) und Satelliten-basiert (NTN)

- 5G: Mehr als Frequenz und Bandbreite: Vernetzte Netzwerke => Relevanz NTN in Ergänzung zu TN
- Mehrwert durch **Komplementarität**



FR – Frequenzbereich



Projekt embrace5G

Eingebettetes Boden-Raum 5G Terminal für automatisiertes und vernetztes Fahren

- **State-of-the-art Lösungen: Zu ...**

- ... voluminös

- ... kostenintensiv

- ... leistungshungrig

- für Anwendungen im Massenmarkt**



Quelle: Kymeta, GeekWire

- **Automobilantenne für beide 5G-Frequenzbereiche: Konzept, Design, Verifizierung**

- **Identifizierung geeigneter Installationsräume**

- **Strahlungsdiagramme geeignet für SOTM (Linkbudget, Keulenbreite)**

- **Kompatibilität mit Standards für terrestrische Kommunikation (V2X, LTE-V, 5G)**

- **Niedrige Bauhöhe, Konforme Integration, verteilte Installationsräume**

- **Geeignet für Betrieb in terrestrischen und Satelliten basierten 5G-Netzwerken**

- **Konzeptstudie für Stakeholder (MNO, OEM, Transport)**

- **Auswahl von S-Band und Ka-Band**

MNO – Mobile network operators

NTN – Antennenterminals (automotive, LEO)

Die *embrace5G* Philosophie

$$DR \propto \frac{EIRP_{TX} \cdot \frac{G}{T_{RX}}}{f^2 \cdot h^2}$$

$$G_{UE} \approx 4\pi \cdot \eta \cdot \left(\frac{D}{\lambda}\right)^2$$

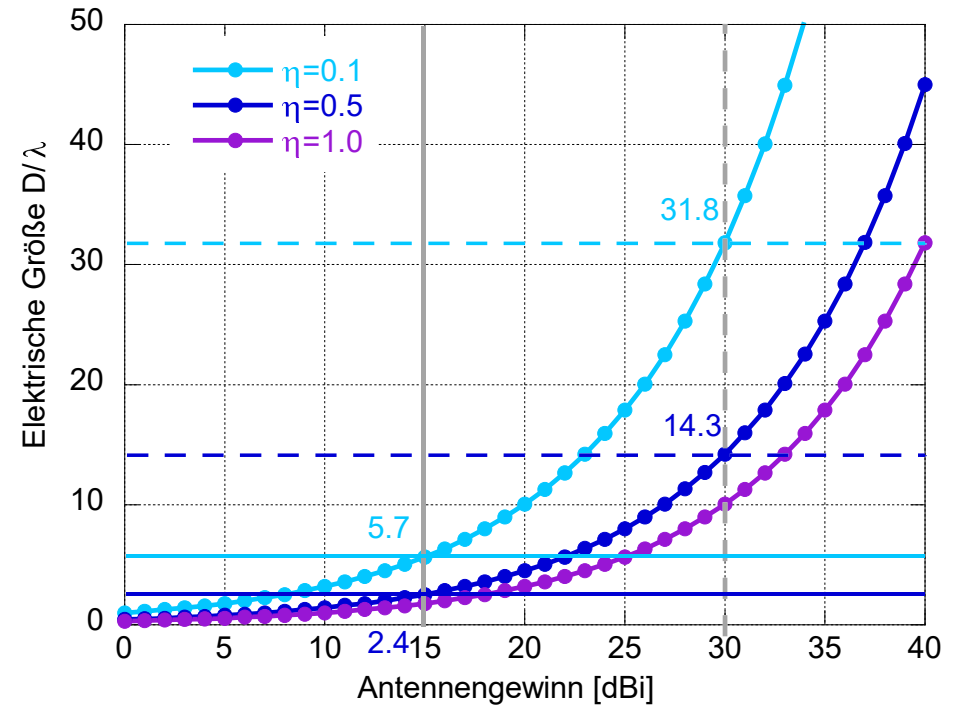
Einflussfaktoren

- Elektrische Größe D/λ
- Keulenbreite λ/D (Nachführung)
- Wirkungsgrad η (effektive Größe)

G so klein wie möglich – so groß wie nötig!

***embrace5G*-Philosophie: $G_{UE} \leq 15$ dBi**

Für $G_{UE} \leq 15$ dBi folgt $D/\lambda \leq 6$ ($\lambda_S \leq 15$ cm; $\lambda_{Ka} \leq 1,5$ cm)



DR – Datenrate
h – Orbitalhöhe

NTN – Link budget (LEO)

Erwartete Performance und mögliche Anwendungen

Ka-Band UL: $f = 28,5 \text{ GHz}$, $G_{\text{sat}} = 44,3 \text{ dBi}$			
Parameter	Wert	Parameter	Wert
$h \text{ [km]}$	400	$D_{\text{sat}} \text{ [m]}$	0,74
$\alpha_{\text{FS}} \text{ [dB]}$	174	$\alpha_{\text{atm}} \text{ [dB]}$	12,5
$P_{\text{TXsat}} \text{ [dBm]}$	40	$P_{\text{RX}} \text{ [dBm]}$	-139
$P_{\text{TXUE}} \text{ [dBm]}$	32	NF [dB]	3
$G_{\text{UE}} \text{ [dBi]}$	15	B [MHz]	5
EIRP _{UE} [dBm]	47	SNR _{UL} [dB]	8,3
$\Theta_{\text{sat}} \text{ [}^\circ\text{]}$	1	SE [bit/s/Hz]	1,38
R [km]	3,5	DR _{UL} [Mbit/s]	7

Anwendungsfall (5GAA)	Datenrate [Mbit/s]	Latenz [ms]
Connection to infrastructure	0.5	100
Connection to control center	0.5	1000
Update of radio system software	3.3	n.a.
Update of local dynamic map	4	200
Remote assistance via control center	5	200
Public internet access	5	200
Emergency communication to control center	5	200

(S-Band mit $G_{\text{UE}}=10 \text{ dBi}$: $DR_{\text{UL}} \approx 21 \text{ Mbit/s}$)

H.-P. Petry, "Die Chancen innovativer Satellitenkommunikation in einer modernen digitalisierten Gesellschaft," DeSK, Deutsches Zentrum für Satellitenkommunikation, Backnang, 2019

embrace5G – TN/NTN Nutzerterminal

3-in-1 Antennenentwurf

Idee: Kombi-Plattform

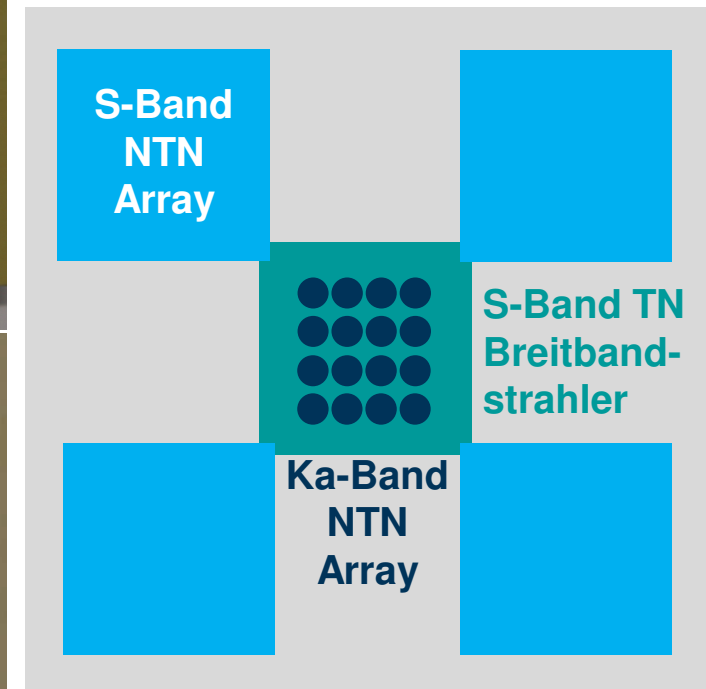
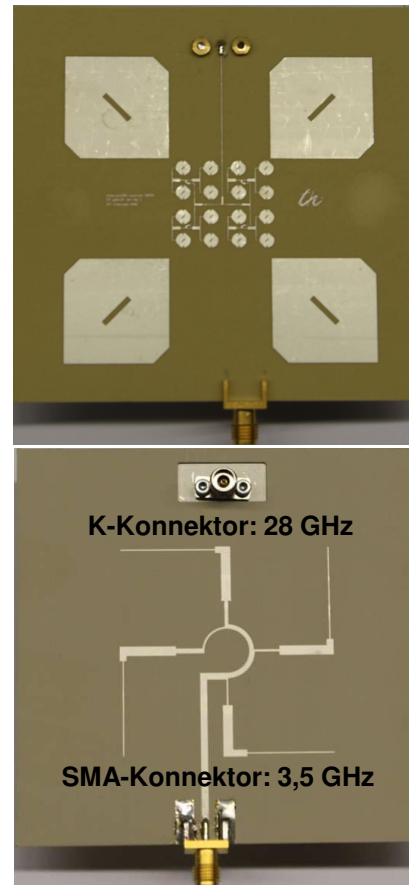
- NTN 2 × 2 ZP Array S-Band (3,5 GHz)
- NTN 4 × 4 ZP Array Ka-band (28 GHz)
- TN LP Breitbandstrahler (2,6 und 3,5 GHz)

Eigenschaften

- Anpassung $|S_{11}|^2 > 10$ dB
- Gewinne passen zur Projektphilosophie
- Abmessungen 93 mm × 93 mm × 14 mm
- Flache Bauform für Einbettung geeignet

Herausforderungen

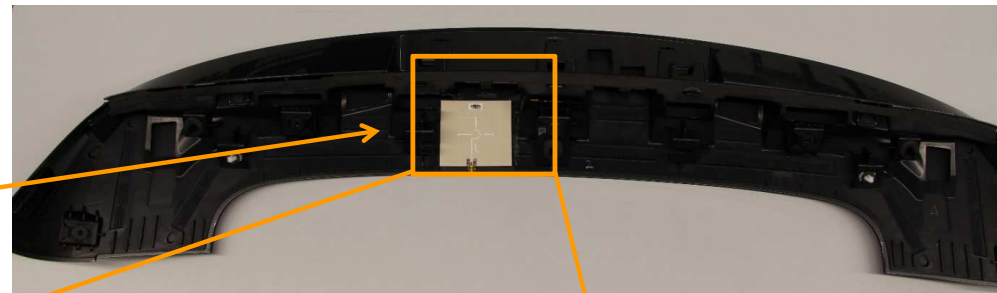
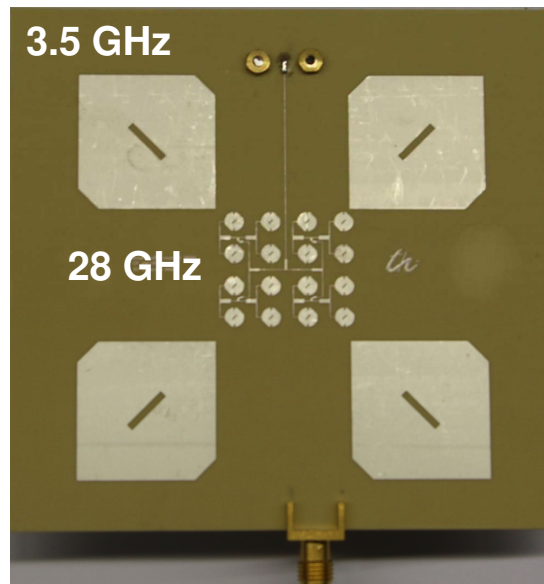
- Entkopplung der Elemente
- Polarisations-Bandbreite
- Speisernetzwerke, Leitungsführung



NTN Nutzerterminals

Bauräume

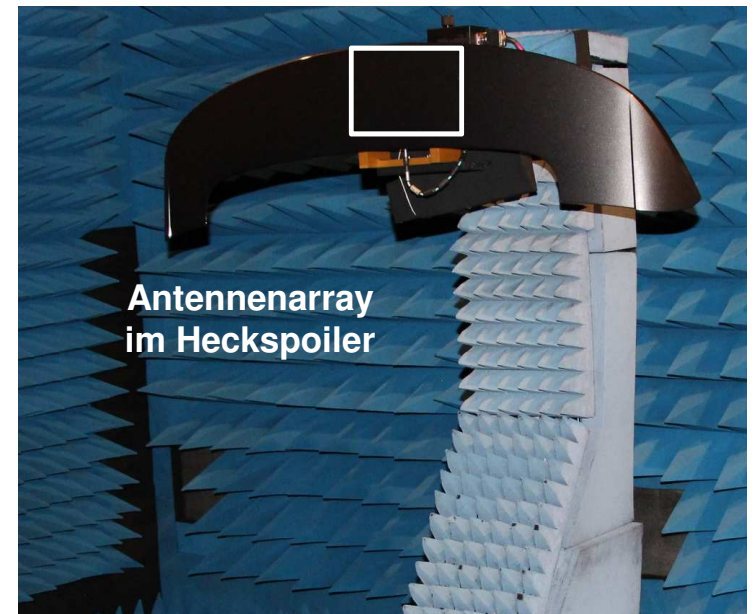
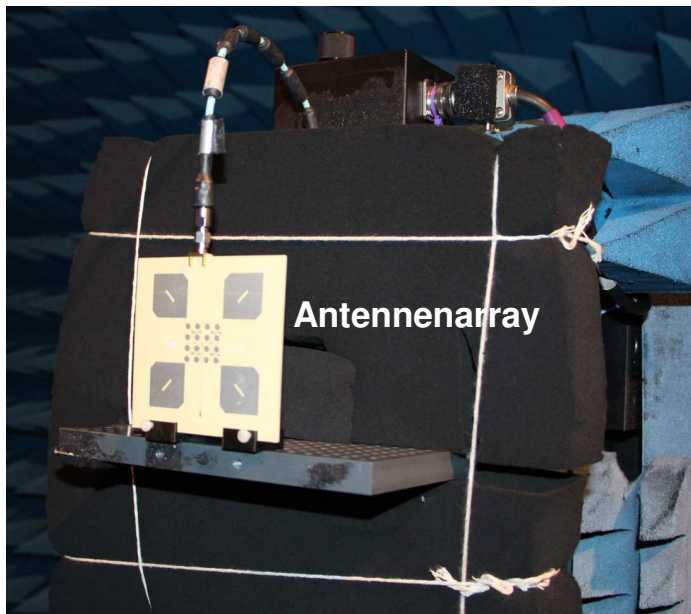
- Beispielhafte Integration in SUV-Heckspoiler (Projektpartner Wiegand GmbH)



NTN Nutzerterminals

Messungen

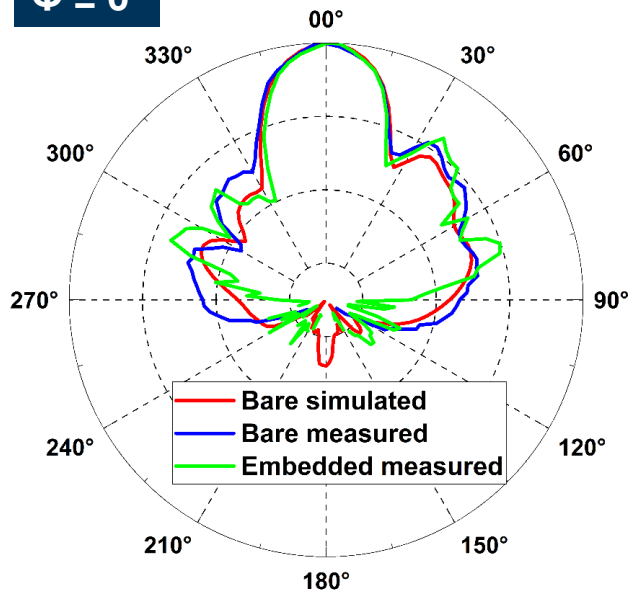
- Fernfeldmessungen des isolierten und eingebetteten NTN-Antennenarrays
- $R_{\text{meas}} \approx 5,47 \text{ m}$, $R_{\text{ff28}} \approx 3,06 \text{ m}$, $R_{\text{ff3,5}} \approx 0,383 \text{ m}$



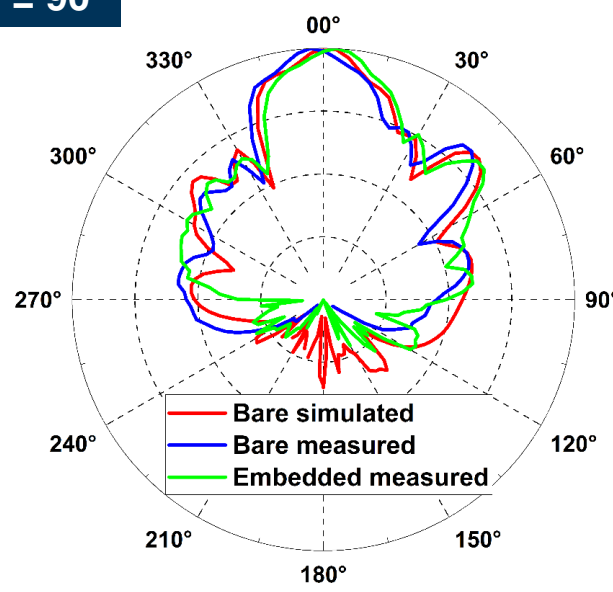
embrace5G – NTN-Strahler, Ka-Band

Strahlungsdiagramme, Simulation & Messung

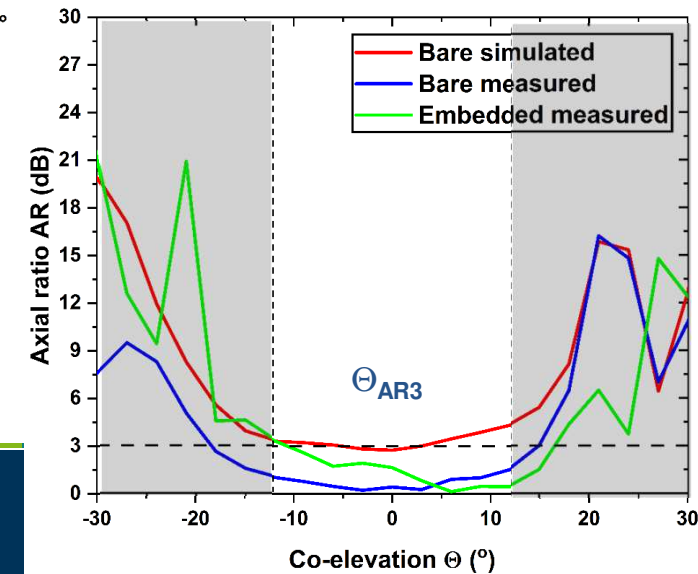
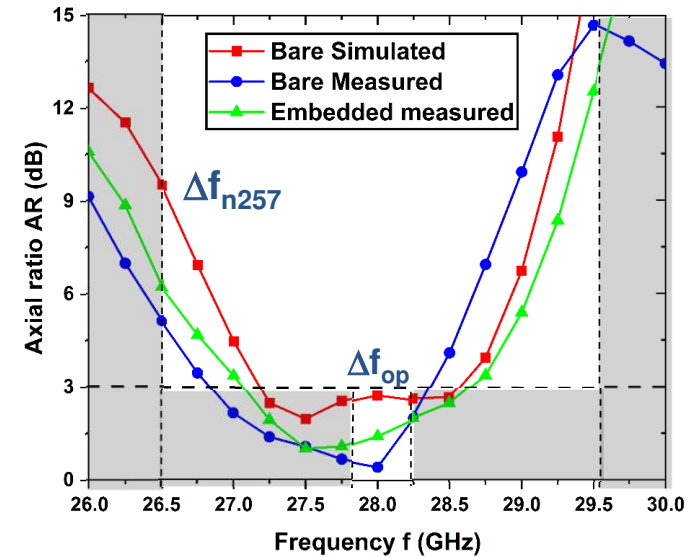
$\Phi = 0^\circ$



$\Phi = 90^\circ$



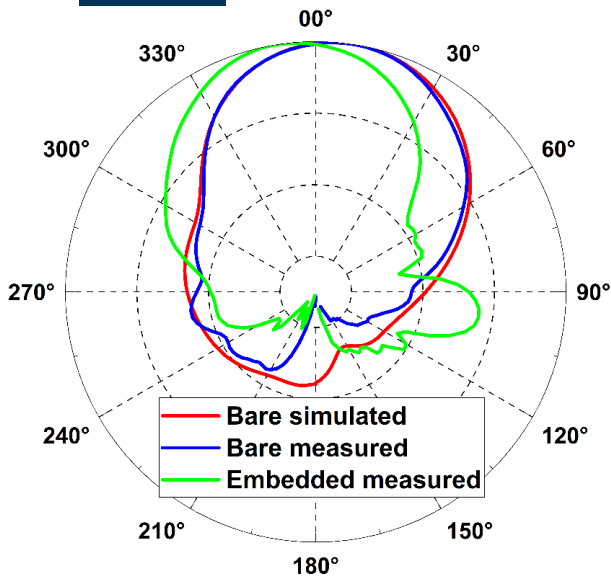
Vertikalschnitte, $G_{\max} = 14$ dBi (Ziel: 15 dBi)



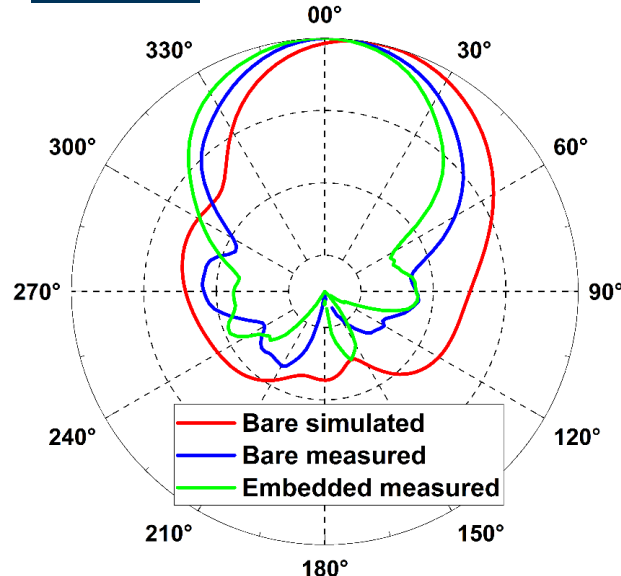
embrace5G – NTN-Strahler, S-Band

Strahlungsdiagramme, Simulation & Messung

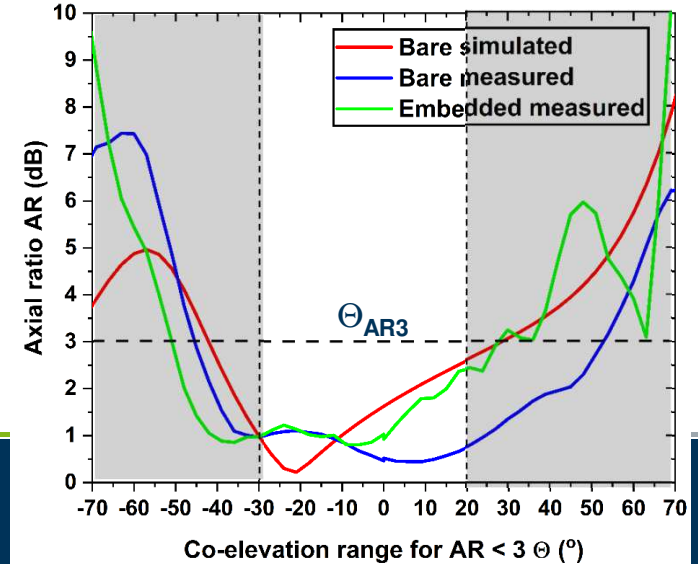
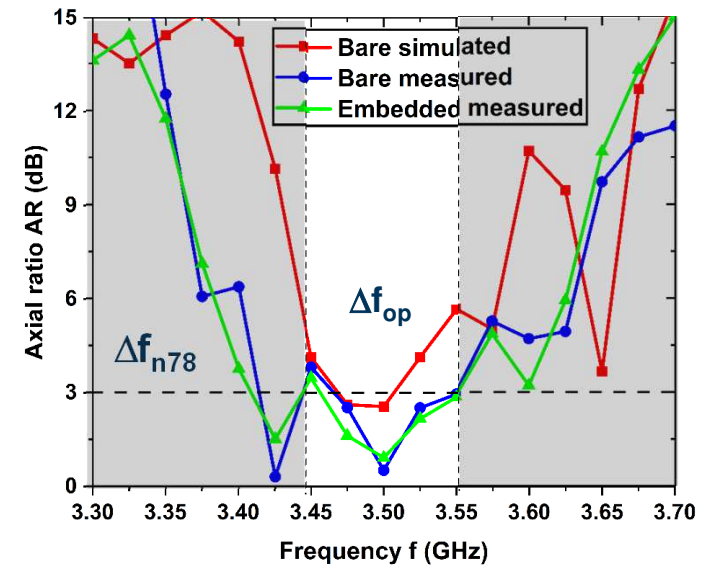
$\Phi = 0^\circ$



$\Phi = 90^\circ$



Vertikalschnitte, $G_{\max} = 9 \dots 10$ dBi (Ziel: 10 dBi)



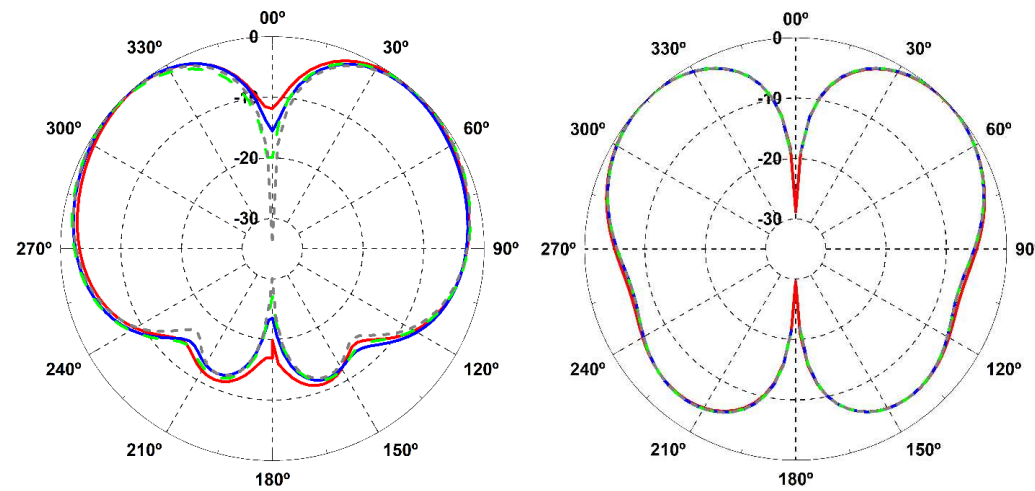
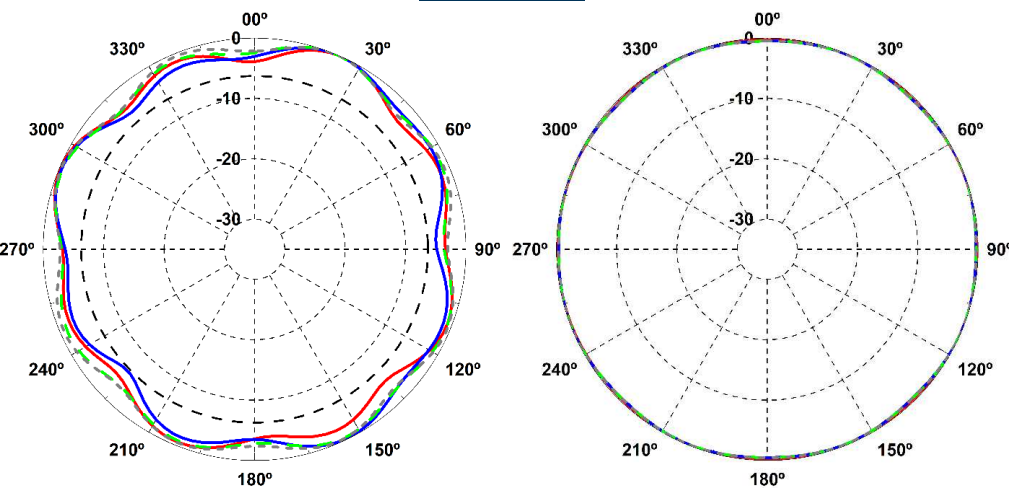
embrace5G – TN-Strahler, S-Band

Strahlungsdiagramme, Simulation

Vertikalschnitte $\Theta = 90^\circ$

Horizontalschnitte $\Phi = 0^\circ$

$G_{\max} = 3,5 \text{ dBi}$



3,5 GHz

2,6 GHz

3,5 GHz

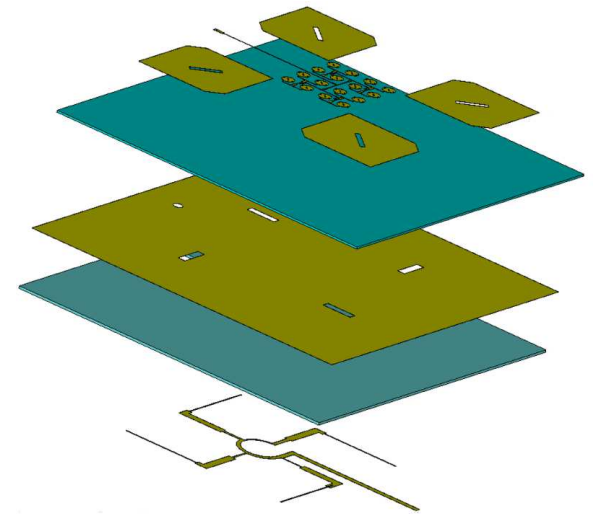
2,6 GHz

Farben: Verschiedene Entwurfsvarianten

Vorstellung auf ICMIM 2024, 16.-17.04.2024

Zusammenfassung

- AVF-Technologien benötigen bestmögliche Funkkonnektivität
- Terrestrische und nicht-terrestrische Mobilkommunikation ergänzen sich sowie Radar und Navigation hervorragend
- Massenmarktaugliche Technologien erfordern Simplizität hinsichtlich Baugröße, Performance und Leistungsaufnahme
- Die *embrace5G*-Philosophie ($G < 15$ dBi) adressiert eine Vielzahl relevanter Anwendungen mit moderaten Datenraten und Latenzen
- Verschachtelte Antennenelemente für TN- und NTN-Verbindungen in S- und Ka-Band weisen vielversprechende Eigenschaften auf
- Technologien zur Einbettung in Kunststoffteile sind verfügbar
- Perspektivisch sind smarte Antennensysteme mit integrierten Frontends erreichbar



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

>> Haben Sie Fragen oder Anmerkungen?
Bitte kontaktieren Sie mich:

christian.bornkessel@tu-ilmenau.de

Tel. +49-3677.69-1592

Vielen Dank an:

- M.E. Asghar, U. Tayyab | TU Ilmenau
- Dr. H.-P. Petry | Deutsches Zentrum für Satelliten-Kommunikation
- Fa. Wiegand GmbH
- BMWK und DLR für die Förderung des Projektes „embrace5G“

Förderkennzeichen 50 RK 2121

